

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-093953

(43)Date of publication of application : 06.04.1999

(51)Int.Cl. F16C 32/04
H02K 7/09

(21)Application number : 09-275272

(71)Applicant : MITSUBISHI HEAVY IND LTD

(22)Date of filing : 22.09.1997

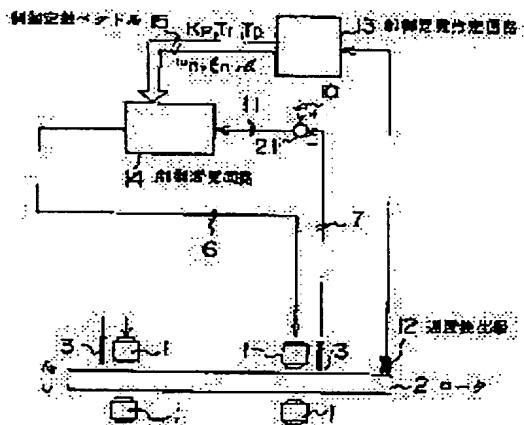
(72)Inventor : HIROE TAKAHARU

(54) CONTROL DEVICE OF MAGNETIC BEARING

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To increase the gain of a PID regulator by using a proper control constant according to the rotating speed of a rotor even if the natural frequency of bending vibration is changed according to the change of the rotating speed.

SOLUTION: The voltage control of an electromagnet 1 is performed on the basis of a power instruction signal 6 obtained by subtracting the displacement signal 7 between an electromagnet 1 and a rotor 2 detected by a displacement sensor 3 from a position instruction value 10 by a subtracter 21, and passing the resulting deviation signal 11 through a notch filter built in a control arithmetic circuit 14, thereby canceling the resonance peak of bending vibration of the rotor 2, and thereafter inputting the signal to a PID regulator to perform a 'proportional, integrating, and differential' control. In a control device for magnetic bearing, the rotating speed of the rotor 2 is detected by a rotating speed detector 12 and inputted to a control constant designating circuit 13, and a proper control constant 15 corresponding to the rotating speed is selected within the control constant designating circuit 13, and outputted to a control arithmetic circuit 14 side. Since the safe tolerance of a magnetic bearing is thus increased, the gain of the PID regulator can be increased.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-93953

(43) 公開日 平成11年(1999) 4月6日

(51) Int.Cl.⁸

F 1 6 C 32/04

H 0 2 K 7/09

識別記号

F I

F 1 6 C 32/04

H 0 2 K 7/09

A

審査請求 未請求 請求項の数 1 F D (全 5 頁)

(21) 出願番号

特願平9-275272

(22) 出願日

平成9年(1997) 9月22日

(71) 出願人 000006208

三菱重工業株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目5番1号

(72) 発明者 広江 隆治

兵庫県高砂市荒井町新浜2丁目1番1号

三菱重工業株式会社高砂研究所内

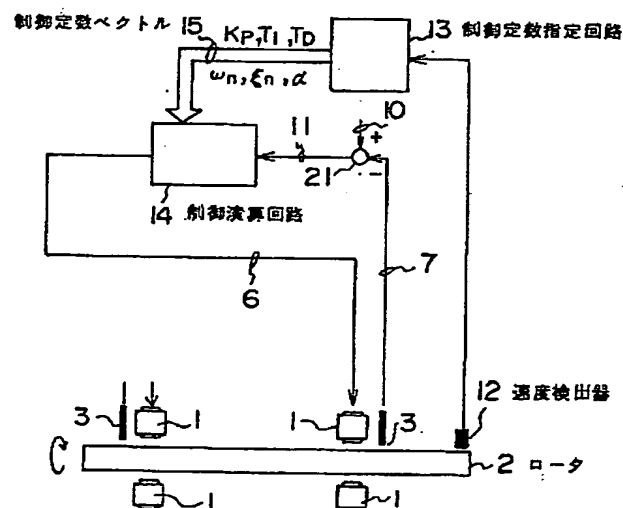
(74) 代理人 弁理士 高橋 昌久 (外1名)

(54) 【発明の名称】 磁気軸受の制御装置

(57) 【要約】

【課題】 回転速度の変化に起因して曲げ振動の固有周波数が変化したとしても、ロータの回転数に応じて適切な制御定数を使用することが出来、これにより、P I D調節計のゲインを増大することが出来る磁気軸受の制御装置を提供すること。

【解決手段】 磁気軸受用の電磁石とロータ間の変位信号と位置指令値とを減算器との偏差信号をノッチフィルタを通した後、P I D調節計に入力して得られる力指令信号に基づいて前記電磁石の磁力制御を行なう磁気軸受の制御装置において、前記ロータの回転速度に対応した制御定数を出力する制御定数指定回路と、該制御定数指定回路より出力された制御定数にもとづき回転速度の変化に対応させた誤差信号が加味されたフィルタ値を得るノッチフィルタと、前記制御定数指定回路より出力された制御定数と前記フィルタ値に基づき比例ゲインを増大させて「比例・積分・微分」制御を行なうP I D調節計とよりなることを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 磁気軸受用の電磁石とロータ間の変位信号と位置指令値とを減算器との偏差信号をノッチフィルタを通した後、PID調節計に入力して得られる力指令信号に基づいて前記電磁石の磁力制御を行なう磁気軸受の制御装置において、前記ロータの回転速度に対応した制御定数を出力する制御定数指定回路と、該制御定数指定回路より出力された制御定数にもとづき回転速度の変化に対応させた誤差信号が加味されたフィルタ値を得るノッチフィルタと、前記制御定数指定回路より出力された制御定数と前記フィルタ値に基づき比例ゲインを増大させて所定の制御を行なうPID調節計とよりなることを特徴とする磁気軸受の制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はタービン等の回転機の磁気軸受に適用される制御装置に係り、特に磁気軸受用の電磁石とロータ間の変位信号と位置指令値とを減算器との偏差信号をノッチフィルタを通した後、PID調節計に入力して「比例・積分・微分」制御を行なって得られる力指令信号に基づいて前記電磁石の磁力制御を行なう磁気軸受の制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、タービン等の回転機の軸受には油膜式の接触型の軸受が使用されてきた。接触型の軸受は安価であるという利点があるが、接触面の摩耗のため耐久性に問題があった。これに対し、磁気軸受は、磁力を利用してロータを非接触で保持できるので、接触型の軸受の本質的な課題であった摩耗が起きず、耐久性を大きく改善できるという優れた特徴がある。

【0003】磁気軸受は、図2に示す様に、電磁石1の吸引力を利用して、磁性体のロータ2を非接触で支持する。周知のように、磁性体に対し磁力は吸引方向の力しか発生しないので、ロータ2の反対位置に、もう一つの電磁石1を設け、互いの吸引力を利用して両方向に力を発生させる様にしている。ロータ2が電磁石1から受ける吸引力は、距離の自乗に反比例するため、ロータ2は電磁石1に近づけば近づく程強く吸引され、最終的にロータ2は電磁石1に張り付いてしまう。この様に、磁気軸受には自らロータを適正位置に保持するという働きはないので、能動的に磁力を加減し、ロータを位置決めしなくてはならない。

【0004】図2を用いて、従来の磁気軸受において、ロータ2の位置決めが如何にになされてきたか説明する。電磁石1の近傍には変位センサ3が設けられており、ロータ2の変位信号7を発信し、PID調節計8とノッチフィルタ9から成る制御器4はロータ2の変位信号7から電磁石1に対し力指令信号6を発信する。即

ち、変位センサ3で検知した電磁石1とロータ2間の変位信号7と位置指令値10とを減算器21で減算して、その偏差信号11をノッチフィルタ9を通すことによりロータ2の曲げ振動の共振ピークを相殺した後、PID調節計8に入力して「比例・積分・微分」制御を行なって得られる力指令信号6を電磁石1側の駆動回路に送出して電磁石1、1の電圧制御を行なう。図2ではロータ2の右端の電磁石1についての制御方法のみを図示しているが、左端側の他の電磁石1についてもこれと同様の制御が行われる。

【0005】磁気軸受の制御の基本部分は、制御器4内のPID調節計8で行われる。PID調節計8の前段にあるノッチフィルタ9は、PID調節計8によって行われるロータ2の位置決めによってロータ2の曲げ振動が励起されるのを防ぐためのものである。即ち、磁気軸受の発生力 u からロータの変位 y までのゲイン特性は図3のようになっており、ロータの曲げ振動の固有周波数 ω_0 において共振ピークがある。この共振ピークによりロータ2の位置決め制御が不安定になる恐れがある。そこで、図4に示すように曲げ振動の発生する周波数付近で局所的にゲインを下げる働きのあるノッチフィルタ9を挿入することにより、ロータ2の曲げ振動の共振ピークを相殺し安定化を図っている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら前記ロータはジャイロ効果を受けるので、振動の固有周波数 ω_0 がロータの回転速度に応じて変動するという性質がある。一方、ノッチフィルタの固有周波数は固定されているため、ロータの回転速度が変わると、曲げ振動の共振ピークを意図どおりに相殺できず、曲げ振動の共振が発生するという問題点があった。従って従来装置においては、回転速度が変わって曲げ振動の固有周波数が変化したとしても、曲げ振動の共振が発生しない程度に迄、PID調節計のゲインを下げるという対処がなされてきたが、PID調節計のゲインが小さいと、タービンを流れる流体の影響等で容易にロータが変位し安全性が損われるという問題点があった。

【0007】本発明は、かかる従来技術の欠点に鑑み、回転速度の変化に起因して曲げ振動の固有周波数が変化したとしても、ロータの回転数に応じて適切な制御定数を使用することが出来、これにより、PID調節計のゲインを増大することが出来る磁気軸受の制御装置を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記の課題を解決するためになされたものであって、磁気軸受により支持されるロータ2の回転速度に応じて適切な制御定数を出力する制御定数指定回路13と、制御定数指定回路13が出力した制御定数ベクトル15にもとづき制御演算を行う制御演算回路14とからなることを要旨とし、

特に請求項1記載の発明は、磁気軸受用の電磁石とロータ間の変位信号と位置指令値とを減算器との偏差信号をノッチフィルタを通した後、PID調節計に入力して得られる力指令信号に基づいて前記電磁石の磁力制御を行なう磁気軸受の制御装置において、前記ロータの回転速度に対応した制御定数を出力する制御定数指定回路と、該制御定数指定回路より出力された制御定数にもとづき回転速度の変化に対応させた誤差信号が加味されたフィルタ値を得るノッチフィルタと、前記制御定数指定回路より出力された制御定数と前記フィルタ値に基づき比例ゲインを増大させて「比例・積分・微分」制御を行なうPID調節計と、よりなることを特徴とする。

【0009】かかる発明によれば、ロータの回転数に応じて適切な制御定数を使用して回転速度の変化に対応させた誤差信号が加味されたノッチフィルタのフィルタ値を得ることが出来、これによりロータ振動の固有周波数 ω_n がロータの回転速度に応じて変動した場合においても、この変動した曲げ振動の発生する周波数付近で局所的にゲインを下げる事が出来、この結果、回転速度による変化するロータの曲げ振動の共振ピークを有効に相殺し安定化を図ることが出来る。この結果、PID調節計の比例ゲインを増大することが可能となり、ロータの変位を小さく保つことが可能となる。しかも前記比例ゲインは、前記制御定数指定回路より出力された制御定数と前記フィルタ値に基づき比例ゲインを適切に増大させることが出来るために、一層磁気軸受の安全余裕の増大を図りながらロータの変位を小さく保つことが出来る。

【0010】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の好適な実施形態を例示的に詳しく説明する。但しこの実施形態に記載されている構成部品の種類、その相対的配

(PID調節計8の制御定数ベクトル)

$$[k_p, T_i, T_d] \leftarrow [K_p(\omega), T_i(\omega), T_d(\omega)] \quad \cdots 1A)$$

(ノッチフィルタ9の制御定数ベクトル)

$$[\omega_n, \xi_n, \alpha] \leftarrow [\omega_n(\omega), \xi_n(\omega), \alpha(\omega)] \quad \cdots 1B)$$

【0014】制御演算回路14においては、図5に示すように、前記制御定数指定回路13より取り込んだ前記1B)式から得られる制御定数ベクトル15に基づいて演算器9aにて下記「数1」に基づく所定の演算を行ない、ノッチフィルタ9のフィルタ値 u_n を生成する。即ちノッチフィルタ9の演算器9aにおいては、例えば以下の微分方程式に基づいて制御定数指定回路13より得

$$\begin{bmatrix} \ddot{x}_n \\ \dot{x}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2\bar{\xi}_n \bar{\omega}_n & -\bar{\omega}_n^2 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_n \\ x_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{\omega}_n^2 \\ -2\bar{\xi}_n \bar{\omega}_n \alpha \end{bmatrix} \delta$$

$$u_n = x_n + \delta$$

【0016】尚、「数1」において、 δ は誤差信号11、 u_n はノッチフィルタの出力信号である。

置、及び数式等は特に特定の記載がないかぎり、この発明の範囲をそれに限定する趣旨ではなく、単なる説明例にすぎない。

【0011】図1及び図5は、本発明の一実施形態にかかる磁気軸受の制御装置を示し、変位センサ3で検知した電磁石1とロータ2間の変位信号7と位置指令値10とを減算器21で減算して、その偏差信号11を制御演算回路14に内蔵したノッチフィルタ9を通すことにより、ロータ2の曲げ振動の共振ピークを相殺した後、PID調節計8に入力して「比例・積分・微分」制御を行なって得られる力指令信号6に基づいて電磁石1の電圧制御を行なうという基本構成は同様であるが、本発明にもとづく磁気軸受の制御装置では、ロータ2の回転速度 ω を回転速度検出器12で検出し制御定数指定回路13に入力し、該制御定数指定回路13内で回転速度 ω に対応した適切な制御定数15を選択し、制御演算回路14側に出力する。

【0012】制御定数指定回路13には予め定めた制御演算回路14内に組込まれたPID調節計8とノッチフィルタ9等の制御定数、すなわちPID調節計8については比例ゲインと積分時間、微分時間がそれぞれ回転速度 ω の関数として $K_p(\omega)$ と $T_i(\omega)$ 、 $T_d(\omega)$ のように記憶されている。また、ノッチフィルタ9についてはノッチフィルタ9の固有周波数 ω_n と減衰率 ξ 、ゲイン α がそれぞれ $\omega_n(\omega)$ と $\xi(\omega)$ 、 $\alpha(\omega)$ のように回転速度の関数として記憶されており、不図示のタイマにより設定された所定時間間隔毎にロータ2の回転速度 ω が入力されると適切な制御定数15を出力する。

【0013】制御定数ベクトル15の各要素は回転速度 ω の関数として、例えば次の様に表すことができる。

【0015】

【数1】

【0017】又制御演算回路14においては、前記制御定数指定回路13より取り込んだ前記1A)式から得ら

れる制御定数ベクトル15に基づいてPID調節計8の演算器8aにて下記「数2」に基づく所定の演算を行ない、該PID調節計8より力指令信号uを出力する。即ちPID調節計8の演算器8aにおいては、例えば以下の微分方程式に基づいて制御定数指定回路13より得られた制御定数 $[k_p, T_i, T_d]$ とノッチフィルタの

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_i \\ \dot{x}_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -1/T_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ x_d \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{k}_p / \bar{T}_i \\ 1/T_d \cdot \bar{k}_p / \bar{T}_d \end{bmatrix} u_n$$

$$u = x_i - x_d + 2\bar{k}_p u_n$$

【0019】尚、前記「数2」において、 x はPID制御器、ノッチフィルタの内部変数を示し、 x_n は回転速度 ω に対応してフィルタリングした偏差信号、 x_i は x_n の積分値、 x_d は x_n の微分値である。

【0020】

【発明の効果】以上説明した様に、本発明によれば、ロータの回転数に応じて適切な制御定数を使用することが可能となるため、磁気軸受の安全余裕が増大するので、PID調節計のゲインを増大することが可能となり、ロータの変位を小さく保つことが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態にかかる磁気軸受の制御装置の説明図である。

【図2】従来の磁気軸受制御装置の説明図である。

【図3】ロータの振動特性のゲイン線図である。

【図4】ノッチフィルタのゲイン線図である。

【図5】図1の制御演算回路の内部構成を示す要部ブロック図である。

フィルタ値 u_n に基づいて回転速度 ω に対応した力指令信号uを生成し、該力指令信号uを電磁石1側の不図示の駆動回路に送出して電磁石1、1の電圧制御を行なう。

【0018】

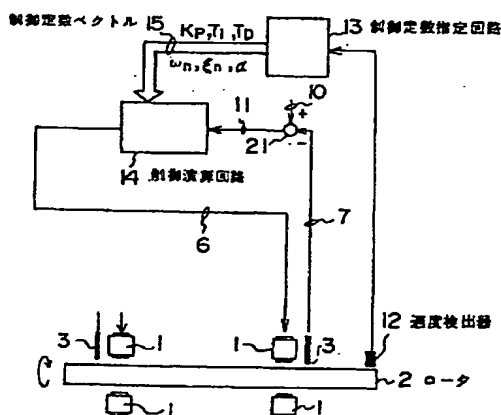
【数2】

ック図である。

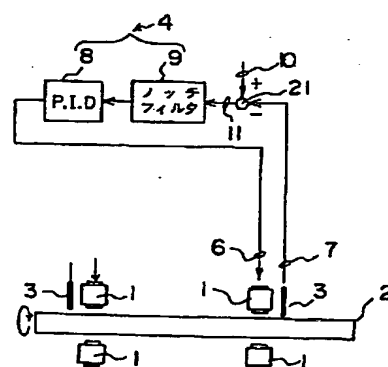
【符号の説明】

- 1 電磁石
- 2 ロータ
- 3 変位センサ
- 4 制御器
- 5 磁気軸受の制御装置
- 6 力指令信号
- 7 変位信号
- 8 PID調節計
- 9 ノッチフィルタ
- 10 位置指令値
- 11 誤差信号
- 12 速度検出器
- 13 制御定数指定回路
- 14 制御演算回路
- 15 制御定数

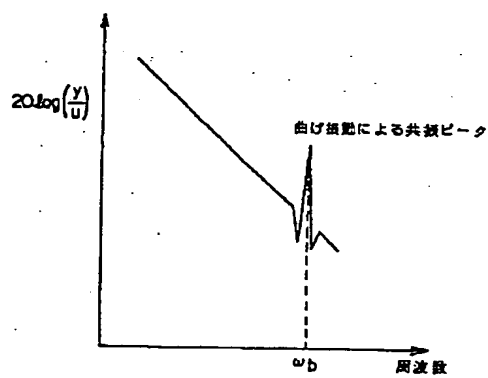
【図1】



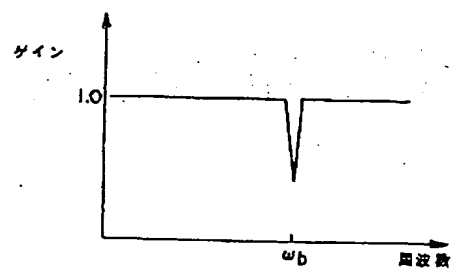
【図2】



【図3】



【図4】



【図5】

